Vol. 30 No. 3 Sept. , 2008

甘肃省各数字测震台下方地壳速度结构研究

安张辉^{1,2}, 吕子岚³, 杜学彬^{1,2}, 谭大诚^{1,2}, 陈军营^{1,2} (1.中国地震局兰州地震研究所,甘肃兰州 73000; 2.中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地,甘肃兰州 73000; 3.华北电力大学,河北保定 071003)

摘 要:利用甘肃省数字台网的资料,应用远震接收函数方法对各个台站下方的地壳结构进行了分析研究。研究结果表明,Moho 面的深度都在50 km 左右,甘南的 Moho 面深度普遍大于河西;地壳可以分为两层,20 km 为其分界面。上地壳普遍存在低速层,其成因不是岩石熔融所致,而是其它地球物理和地球化学因素所致。另外各台站下方地表盖层的速度也存在很大差异。

关键词:甘肃省;数字测震台;接收函数;地壳;速度结构

中图分类号: P313.3 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0844 (2008) 03 - 0270 - 06

The Crustal Structure Beneath Digital Seismic Stations in Gansu Province

AN Zhang-hui^{1,2}, LV Zi-lan³, DU Xue-bin^{1,2}, TAN Da-cheng^{1,2}, CHEN Jun-ying^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 73000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

3. North China Electric Power University, Hebei Baoding 071003, China)

Abstract: Using the method of receiver function, based on the data of digital seismic stations in Gansu province, the crustal structure beneath digital seismic stations in Gansu province is studied. The results indicate that the depth of Moho is about 50 km in the study area, and the Moho's depth of the southern Gansu is deeper than the western Gansu. The crust under Gansu province consists of two layers, the interface is at about 20 km. A low velocity layer is ubiquitous in upper crust, it formed not because the partial melting of rock but the geophysical and geochemical factors. Otherwise, the velocities of earth's surface are very different beneath different stations.

Key words: Gansu; Digital seismic station; Receiver function; Crust; Velocity structure

0 引言

青藏高原的隆升及其构造变形过程的研究一直 是地震工作者最感兴趣的问题。随着科学技术手段 的不断发展,利用天然地震进行研究已经是地球内 部物理学的主要手段^[1]。甘肃省位于青藏高原的 东北边缘,因此,研究甘肃省各数字测震台下方地壳 速度结构不仅对本省速度模型的建立有建设性的意 义,而且对于研究青藏高原动力学问题也将会起到 一定的辅助意义。 甘肃省地处祁连山地震构造带和南北地震构造 带的交汇部位^[2]。区内活动断裂非常发育,新活动 显著,历史及现今曾发生过多次中强以上破坏性地 震,这些地震大都发生在地下几公里到几十公里的 地壳内。目前活动构造多侧重于地表构造的研究, 然而构造活动都是有其深部构造背景。随着各台站 资料的积累,以及在该地区进行的其它研究的进展, 使得本次研究可以利用许多新的研究成果。鉴于上 述原因,本文利用甘肃省境内数字测震台记录的远

收稿日期:2007-12-04

基金项目:甘肃省地震局(所)青年地震科学基金资助课题(200705);中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(691);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2008018

作者简介:安张辉(1978-),男(汉族),山西运城人,助理研究员,主要从事地震数字信号处理和地球动力学研究.

震资料对该区地壳速度结构进行了详细研究。

1 所选用资料和使用的方法

1.1 选用资料

本文所研究的资料来源于甘肃省"九五"改造 过的数字地震台(图1)。我们从2000年6月到 2006年3月的地震观测资料中,挑选出震中距在 35°~75°之间,具有清晰P波初至和低噪声的远震 数据609个。其依据理由是,震中距小于30°的远 震事件不能对地壳形成很好的穿透,而大于震中距 90°的远震波形将受到地核影区的影响^[3]。







1.2 使用的方法

远震 P 波接收函数方法经过许多地震专家的 研究发展,已经成为了研究地壳上地幔较为成熟的 一种方法。它是将远震观测资料的垂直分量对水平 分量在频率域进行反褶积,然后从频率域反变换到 时间域,从而得到反映接收介质结构响应的接收函 数。远震 P 波波形与影响机制的关系可表示成^[4]

 $D(t) = S(t) * M_{s}(t) * M_{ray} * M_{r}(t) * I(t)$ (1) 其中 D(t) 为远震 P 波波形数据;S(t) 为震源时间函数; $M_{s}(t)$ 为近源介质结构响应; $M_{ray}(t)$ 为 P 波在地 幔中传播的透射响应;I(t) 为仪器响应; $M_{r}(t)$ 为接 收介质响应; * 表示褶积。我们所关心的只是 $M_{r}(t)$ 。Langston 对上式进行了简化:

$$\begin{cases} D_{\rm v}(t) = I(t) * S(t) * E_{\rm v}(t) \\ D_{\rm R}(t) = I(t) * S(t) * E_{\rm R}(t) \\ D_{\rm T}(t) = I(t) * S(t) * E_{\rm T}(t) \end{cases}$$
(2)

其中 S(t)代表入射平面波的有效震源时间函数;

I(t)代表仪器的脉冲响应; $E_{v}(t)$, $E_{R}(t)$, $E_{T}(t)$ 分 别代表介质结构脉冲响应的垂直分量、径向分量和 切向分量。

我们把介质结构响应的垂直分量近似为 Dirac 函数, $E_v \approx \delta(t)$, 那么 $D_v \approx I(t) * S(t)$, 然后用 $D_v(t)$ 对 $D_R(t)$ 和 $D_T(t)$ 分别作反褶积处理就可以 得到 $E_R(t)$ 和 $E_T(t)$, 也就是所谓的径向接收函数 和切向接收函数。

在接收函数的提取方法上,吴庆举^[4]将时间域 中的 Winner 滤波反褶积和最大熵谱反褶积方法应 用于接收函数的提取,取得了很好的结果。本文采 用的就是最大熵谱反褶积方法。

在接收函数的提取过程中,由于反褶积在频率 域的计算往往不稳定,为了确保其稳定性,常采用 Helmberger and Wiggins^[5]提出的频率域反褶积稳定 算法:引入水准量。本文的水准量值为0.01,高斯 滤波系数为2.5。此外,为了能消除随机噪声的干 扰,提高信噪比,压制资料本身所携带的横向不均 性,我们对同一台站多个地震事件的接收函数进行 了叠加。图2表示的是河西堡台所利用的远震资料 得到的接收函数及其叠加结果。从图中可以看出所 采用的远震资料有非常好的一致性,其反演结果能 真实反映接收台站下方的速度结构。表1中列出了

表1 地震的震源参数

日期	时间	纬度/°	经度/°	震级	/M _s 参考地点
2007-01-21	19:27:44.7	1.2	126.5	7.5	马鲁古海峡
2006-11-15	19:14:17.6	46.6	153.3	8.0	千岛群岛
2006-05-22	19:12:01.0	60.6	165.8	7.3	俄罗斯堪察加半岛
2006-05-16	23:28:24.6	0.1	97.2	7.2	印尼苏门答腊西南海中
2006-04-30	00:58:08.0	60.6	167.4	7.3	俄罗斯堪察加半岛地区
2005-11-15	05:38:55.3	38.2	144.7	7.1	日本本州以东海中
2005-05-19	09:54:53.0	2.1	97.0	7.1	印尼苏门答腊北
2005-05-14	13:05:16.0	0.6	98.5	7.0	印尼苏门答腊地区
2004-11-29	02:32:11.6	42.9	145.2	7.1	日本北海道
2004-07-25	22:35:19.0	-2.3	104.1	7.3	印尼苏门答腊
2003-10-31	09;06;28.8	37.8	142.8	7.1	日本本州东海岸近海
2003-09-26	05:07:55.0	41.8	144.0	7.1	日本北海道地区
2003-09-26	03:50:04.0	42.2	144.1	8.0	日本北海道地区
2003-05-27	03:23:28.2	2.6	129.3	7.0	哈马黑拉岛以北地区
2003-03-18	00:36:11.4	51.6	177.9	7.2	拉特群岛
2002-11-02	09:26:13.7	3.1	96.1	7.8	印尼苏门答腊北部海中
2002-06-27	13:50:37.3	-7.3	103.8	7.4	苏门答腊西南以远地区
2002-03-06	05:16:15.2	6.8	124.5	7.1	菲律宾
2001-10-19	11:28:39.2	-4.0	123.9	7.1	班达海
2001-08-03	07:41:11.9	55.1	161.9	7.0	堪察加
2001-05-25	08:40:49.7	44.0	147.9	7.0	千岛群岛
2001-02-24	15:23:45.6	1.9	126.5	7.1	印度尼西亚
2001-02-14	03:28:15.2	-6.1	102.1	7.4	印尼苏门答腊
2001-01-01	14:56:56.1	7.0	127.4	7.0	菲律宾表





襾

图2 不同观测资料得到的河西堡台接收函数集合图以及相应的叠加结果

在时间域进行接收函数反演时,采用了吴庆举 发展的跳动算法^[4]。建立反演初始模型时,参考了 最新的研究成果^[6-7]。另外,波速比对 Moho 深度的 影响不容忽视^[8],本文在接收函数的反演过程中通 过下面的两个公式着重考虑了波速比:

$$\Delta H = \frac{\partial H}{\partial V_{\rm P}} \Delta V_{\rm P} = 9.4 \Delta V_{\rm P} (\,\rm km) \tag{3}$$

$$\Delta H = \frac{\partial H}{\partial \kappa} \Delta \kappa = -79.7 \Delta \kappa (\,\mathrm{km}) \tag{4}$$

式(3)和(4)推导过程中,我们假设地壳厚度为65 km,P 波速度为6.3 km/s,S 波速度为3.5 km/s。我 们很容易看出, V_s 和 V_p 对深度 H 的影响没有波速 比($\kappa = \frac{V_p}{V_s}$)对深度(H)的影响大。若 P 波速度的变 化量为0.1 km/s时,对深度的影响约为1 km;而当 波速比 κ 的变化量为0.1 时,深度的变化量约为8 km。因此在反演时针对不同的台站采取了不同的 波速比^[7](表2)。这些波速比通过接收函数扫描方 法得到。

2 反演结果

本文所研究的数字地震台的分布如图1所示。 由于台站分布不均所限,未能对甘肃省进行良好的 覆盖。相信随着数字化强震台网的架设完成,台站 会更为密集,将会有更好的结果。由于资料的质量 和数量的原因,本文选取了16个台进行远震接收函 数的反演,得到了这16个数字台站下方地壳以及上 地幔的速度结构。

表 2 甘肃省各个数字台站的参数和反演所用参数

台站名	台站代码	地震事件数	纬度/°	经度/°	波速比
成县	ext	51	33.73	105.76	1.68
迭部	dbt	37	34.06	103.21	1.74
定西	dxt	33	35.55	104.58	1.73
河西堡	hxpt	98	38.39	102.10	1.80
红崖山	hyst	79	38.40	102.82	1.77
湟源	hyt	66	36.49	105.62	1.76
合作	hzt	56	35.01	102.91	1.66
静宁	jnt	70	35.53	105.77	1.82
景泰	jtt	71	37.19	104.09	1.74
岷县	mxt	29	34.42	104.02	1.72
山丹	sdt	36	38.77	101.04	1.83
石岗	sgt	35	37.62	102.76	1.69
肃南	snt	33	38.83	99.612	1.85
武都	wdt	48	33.35	104.99	1.78
文县	wxt	33	32.94	104.68	1.68
永登	ydt	24	36.80	103.31	1.73

图 3 是各个台站的接收函数和相应的拟合结 果。可以很清楚的看到各主要震相均能得到很好的 拟合。除个别台站(迭部台,定西台)的 Ps 转换震 相不明显外,其余 14 个台站的 Ps 波转换震相均清 晰可辨。Ps 转换震相反应的是壳幔边界的信息,因 此本文所得到的 Moho 面的深度能反应真实情况。







图 3 各台站接收函数反演波形拟合图(实线为台站的接收函数,虚线为理论接收函数) Fig. 3 Waveform fitting using receiver function inversion at each station.



图 4 接收函数反演得到的各台站下方地壳上地幔S波速度结构

s

 V_s/km • s

Fig. 4 S wave velocity models of crust and upper Mantle beneath each station using the method of receiver function.

s

第30卷

直达 P 波和 Ps 转换波之间的震相可以反应地壳内的结构,从图 3 可以看出,反演拟合情况比较理想, 能从趋势上真实反应壳内的速度结构。

3 结论和讨论

图4给出的是各个台站下方S波速度结构。首 先研究 Moho 面的情况。对肃南台,山丹台,河西堡 台和红崖山台这四个台,随着远离青藏高原,其 Moho 面的深度总体上是逐渐变浅,其余的12个台也 有类似的情况。总体来看,甘南的 Moho 面深度普 遍大于河西,其原因可能是由于地理位置更靠近青 藏块体,受到青藏高原的抬升所致。Moho 面处的S 波速度大约为4.0 km/s,但各台站各不相同。Moho 面的深度都在50 km 左右,比内陆其它地区的地壳 要厚,其增厚的方式可能是由于印度板块的俯冲,致 使研究区域的上地壳叠置所致。研究所获得的各个 台站下方 Moho 面的深度与人工地震测深的结果非 常一致^[9],较作者以前的结果有很大的改进^[10],主 要是由于资料的积累和反演参数采用了最新的一些 研究结果。

其次研究地壳内的情况,从总体上地壳可以分 为两层,20 km 左右为其分界线。在上地壳普遍存 在低速层,但程度各不相同。李永华^[7]等研究了壳 内泊松比之后认为,壳内低速层的成因不是岩石熔 融所致,而是其它地球物理和地球化学因素所致。 另外,各台站下方地表盖层的速度也存在很大差异, 这主要与台站所处的地理位置的地质构造不同有 关。在下地壳没有突出特点,速度值在该层基本呈 现梯度增加的趋势。

最后讨论上地幔顶部的低速层问题。本人曾认 为^[10]是熔融低速体的侵入所致。但最新研究成果 发现^[7],该区的下地壳不会存在一定规模的熔融 体,其原因是在该区进行的一些人工地震测深 S 波 资料中发现了清晰的能量较强的连续性较好的 Sms 波组。

致谢:中国地震局地球物理研究所吴庆举研究 员提供了有关程序;甘肃省地震局资料信息中心柏 琳在收集资料时给予了许多帮助,在此一并表示衷 心感谢。

[参考文献]

- [1] 傅承义,陈运泰,祁贵仲. 地球物理学基础[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [2] 袁道阳,何文贵,刘小凤,等.10余年来甘肃省中强地震的发震 构造特征[J].西北地震学报,2006,28(3):235-241.
- [3] 贺传松,王椿镛,吴建平. 腾冲火山区 S 波速度结构接收函数 反演[J]. 地震学报,2004,26(1):11-18.
- [4] 吴庆举. 宽频带远震体波波形反演方法与青藏高原岩石圈速 度结构研究[D].北京:中国地震局地球物理研究所, 1996.
- [5] Helmberger D V, R Wiggins. Upper mantle structure of the midwesten United States [J]. J. Geophys. Res., 1971: 76: 3229-3245.
- [6] 周民都. 青藏高原东北缘地壳上地幔速度结构的地震层析成 像研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所, 2005.
- [7] 李永华,吴庆举,安张辉,等. 青藏高原东北缘地壳 S 波速度结 构与泊松比及其意义[J]. 地球物理学报,2006,49(5):1359-1368.
- [8] Zhu Lupei. Lateral variation of the Tibetan lithosphere structure inferred from teleseismic waveforms[A]//陈运泰等主编. 中国大 陆地震学与地球内部物理学研究进展[G]. 北京:地震出版 社,2004:295-310.
- [9] 李松林,张先康,张成科,等.玛沁一兰州一靖边地震测深剖面 地壳速度结构的初步研究[J].地球物理学报,2002,45(2): 210-217.
- [10] 安张辉,吴庆举,周民都. 用接收函数反演甘肃测震台网下方的 S 波速度结构[J]. 西北地震学报,2006,28(3):261-267.